第8章 潜在的なリスクの定量評価を目的とした安全設計評価手法(SAD)の開発

事故やトラブルを未然に防止し、安全な処理システムを構築するためには、施設がこれまでに経験した事象の情報を有効に活用することが重要である。そこで我々は、事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベースを活用することで、メーカーの設計者等に支援しうる手法として安全設計評価手法 SAD(safety design analysis with database)(以下、SAD)を開発している。本章では、SAD をさらに汎用性のある手法とするために進めた高度化について述べる。

8. 1 STDB を活用した安全向上策の相乗効果の検討

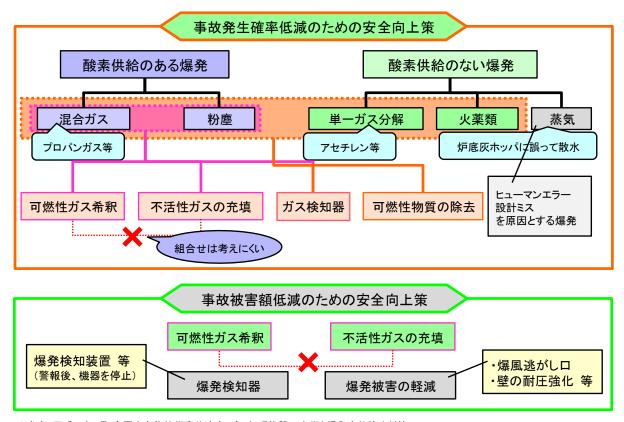
安全向上策を複数導入する場合、どのような相乗効果があるのかということについて検討を行った。安全向上策を複数にまたがって同施設に導入した場合の相乗効果に関しては、今まで検討してこなかった。そこで、ATHDB や STDB を活用することによって安全向上策導入時における相乗効果の検討を行う。

8. 1. 1 安全向上策の特性を考慮した相乗効果の検討

爆発とは「圧力の急激な発生や開放の結果、容器が破損したり、または、期待が急激に膨張して、爆発音や破壊作用を伴う現象」と定義されている(理化学辞典)。こういった爆発は図7.1のように分類できる。まず、大分類として酸素供給のある爆発と酸素供給のない爆発に分けられる。酸素供給のある爆発では、プロパンガスやガソリン等の気体と空気の混合ガス爆発、また可燃性粉体と空気の混合体による粉塵爆発がある。酸素が不要な爆発では、アセチレンやエチレン等の空気(酸素)の供給がなくてもガス自身が分解爆発して発熱反応を起こす。また、火薬のように、製品自身が燃焼に必要な酸素を持っているため、外部からの酸素供給がなくても爆発するような物質もある。焼却施設では、炉底灰ホッパのつまり解除の為に誤って散水を行ったために、水が瞬間的に蒸発して爆発に至るケースがある。このように、燃焼や分解等の化学的な変化を伴わず、液体の気化による急激な体積の膨張を蒸気爆発という。

このような爆発の発生確率を低減させるために考えられる安全向上策は、酸素のある爆発については、可燃性ガス希釈装置や不活性ガスの充填装置を設置することである。さらに、爆発事故全体に関しては、ガス検知器を設置するだけでなく、手選別を行ったり、モニタカメラを設置することによって発生率を低減できると考えらえる。蒸気爆発については、ヒューマンエラーや設計ミスを原因として発生する事故であるとみなし、検討事例から除外した。

事故被害額を低減させる安全向上策については、可燃性ガス希釈装置や不活性ガス充填装置だけでなく、爆発を検知すると警報を発し機器を停止させる爆発検知器や、爆風逃がし口や壁の耐圧強化等の爆発被害の軽減装置等がある。



※参考:平成21年7月 全国市有物件災害共済会 ごみ処理施設の火災と爆発事故防止対策マニュアル

図8.1 爆発における安全向上策の検討

まず、爆発発生率低減効果について検討した(図7.2)。今回検討した安全向上策は、可燃性ガス希釈装置、不活性ガスの充填装置、ガス検知器、可燃性物質除去装置の4種類である。

希釈空気吹込装置は、破砕機内部に多量の空気を吹込み、可燃性が巣の濃度を爆発下限界未満に希釈し、爆発を未然に防ぐ装置である。地下部強制換気装置は、地下ピット部等低い場所に溜まりやすい傾向にあるトルエンを主体としたシンナー系薬剤ビン等から漏れ出た空気より重いガスを強制的に換気する装置である。

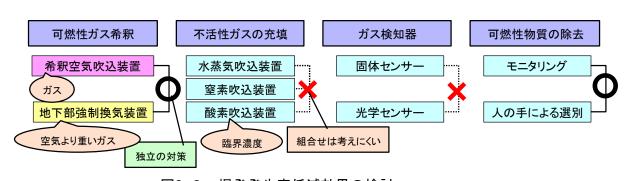
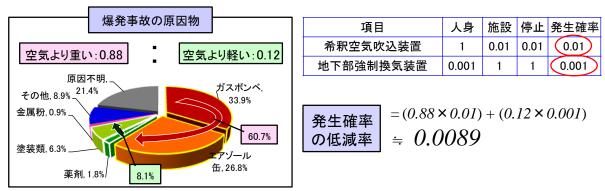


図8.2 爆発発生率低減効果の検討

例えば、希釈空気吹込装置と地下部強制換気装置の二つの装置を組み合わせて同じ装置に導入した場合を考える(図7.3)。今回は、全国市有物件災害共済会のごみ処理施設の火災と 爆発事故防止マニュアルに掲載されていた爆発事故の原因物の割合のグラフを参考にした。希 釈空気吹込み装置に関しては空気より軽い気体を、地下部強制換気装置に関しては空気より重 い気体に対して有効であると考えた場合、破砕機に投入される爆発事故の原因物の割合を計算 することによって各装置の効果を算出することができる。希釈空気吹込装置の事故発生率低減効果は 0.01 であるため、これに爆発事故の原因物の中から空気より軽い気体となるものの割合 0.88 を掛け合わせることによりその低減効果を算出した。地下部強制換気装置に関しても同様に算出した結果、これらの装置を組合せて導入すると事故発生率の低減効果が 0.0089 となった。



※出典: 平成21年7月 全国市有物件災害共済会 ごみ処理施設の火災と爆発事故防止対策マニュアル

図8.3 希釈空気吹込装置と地下部強制換気装置を組合せた場合

次に、可燃性ガス希釈装置(希釈空気吹込装置および地下部強制換気装置)および可燃性物質の除去装置(ITV 装置によるモニタリング)を組合せて導入した場合の相乗効果の検討結果を示す(図7.4)。可燃性ガス希釈装置については、既に混入してしまった爆発原因物質について、ITV 装置については混入する前の爆発原因物質について有効であるとみなす。可燃性ガス希釈装置に関しては、先に示したように 0.0089 を係数とする。

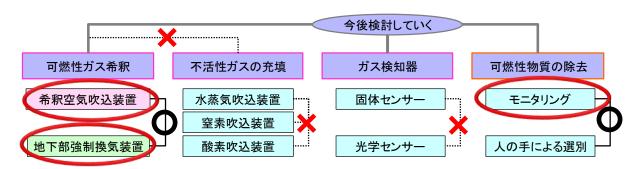


図8.4 爆発発生率低減効果の検討2

ATHDB-all における爆発事故の原因では、図7.5のように可燃性物質の存在・発生を原因とする事故が55%、可燃性ガスの存在・発生が44%である。これらの比率を式(7.1)ように加味することにより、3つの装置の組み合わせによる低減率は0.28となった。

$$(0.44 \times 0.0089) + (0.55 \times 0.50) = 0.28$$
 (7.1)

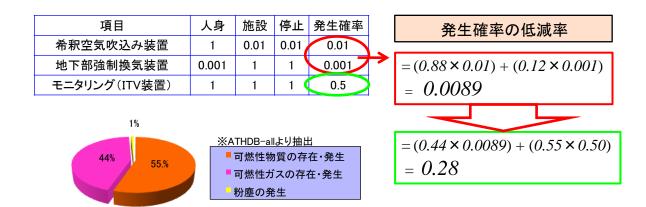


図8.5 可燃性ガス希釈装置と可燃性物質除去装置を組合せた場合

爆発被害額低減効果について検討した。被害額低減効果については、事故発生率低減効果と同様に、ATHDB-all における爆発事故のそれぞれの原因の発生比率を参照し、図 5.6 のように決定し、式 (7.2) ~式 (7.4) より、人身被害額低減率、施設被害額低減率、施設被害額低減率を決定した。

人身被害額低減率 =
$$0.44 \times \{(0.88 \times 1.0) + (0.12 \times 0.001)\} + (0.55 \times 1.0) = 0.94$$
 (7.2)

施設被害額低減率 =
$$0.44 \times \{(0.88 \times 0.01) + (0.12 \times 1.0)\} + (0.55 \times 1.0) = 0.61$$
 (7.3)

爆発検知器、爆発逃がし口および壁の耐圧強化等の組合せについては、今後検討していく。

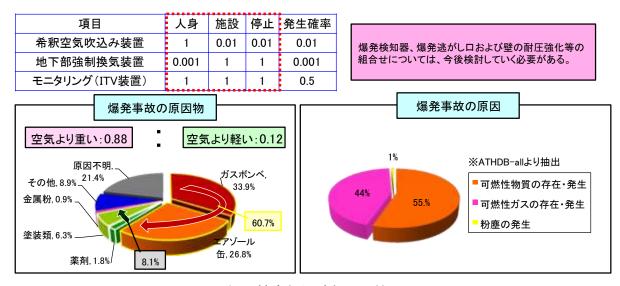


図8.6 爆発被害額低減効果の検討

火災における安全向上策の低減効果について検討した。火災は、出火から有炎発火、フラッ

シュオーバー、火災最盛期、他区間へ延焼、鎮火となる(参考:平成21年7月 全国市有物件災害共済会 ごみ処理施設の火災と爆発事故防止対策マニュアル)。考えうる安全向上策は、検知器のような初期出火までのある検知器(煙感知器、熱感知器、炎感知器、モニタカメラ等)および、初期消火から本格消化まで対策可能な、消化装置(放水ノズル、放水銃装置、散水装置等)がある。これら消化装置の組み合わせは考えにくいため、これらの組み合わせによる相乗効果は検討しない。

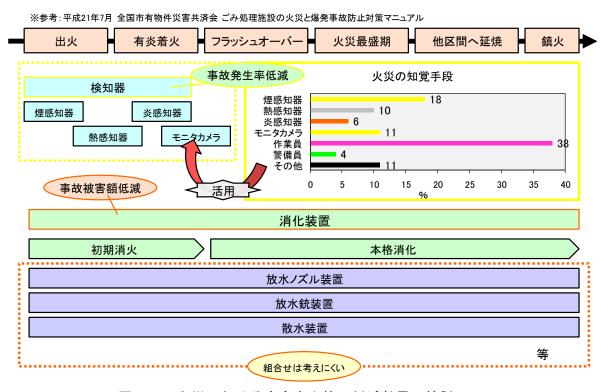


図8.7 火災における安全向上策の低減効果の検討

全国市有物件災害共済会のごみ処理施設の火災と爆発防止対策マニュアルでは、ヒアリング調査の結果、火災の知覚手段として図7.8のような結果を示している。煙検知器が18%、熱感知器が10%、炎感知器が6%、モニタカメラが11%となった。この結果を活用する。

煙感知器、熱感知器、炎感知器、モニタカメラで知覚した割合は、0.40:0.22:0.13:0.25である。そこで、これらをそれぞれの低減率に掛け合わせることによって、

が得られる。

熱感知器、炎感知器、モニタカメラで知覚した割合は、0.51:0.17:0.32 である。同様にそれぞれの低減率に掛け合わせることで、

が得られる。

火災被害額低減効果については、事故発生率低減効果と同様に相乗効果を算出した。煙感知

器、熱感知器、炎感知器、モニタカメラで知覚した割合は、0.40:0.22:0.13:0.25 である。そこで、これらをそれぞれの低減率に掛け合わせることによって、式 (7.7) ~式 (7.9) のような結果となった。

人身被害額低減率=
$$(0.23 \times 0.50)$$
+ (0.08×1.0) + (0.14×1.0) + (0.55×1.0) = 0.89 (7.7)

施設被害額低減率=
$$(0.23 \times 0.50)$$
+ (0.08×0.1) + (0.14×1.0) + (0.55×0.01) = 0.27 (7.8)

施設停止被害額低減率=(0.23×0.10)+(0.08×0.1)+(0.14×1.0)+(0.55×0.01)=0.18 (7.9)

項目	人身	施設	停止	発生確率		火災の知覚手段	
熱感知器	0.5	0.5	0.1	0.5	煙感知器「	18	
炎感知器	1	0.1	0.1	1	熱感知器	10	
モニタリング(ITV装置)	1	1	1	0.5	炎感知器 モニタカメラ	11	
散水装置	1	0.01	0.01	1	作業員		38
警備員 ● 4 その他 ● 11							
覚知手段の割合を算出				o	10 20 30 %	40	

図8.8 火災発生率の低減効果の検討

以上の結果を踏まえた上で、ATHDB-all のフォーマットに項目を追加することを提案する。 図7.9のように施設に関する情報において、導入済みの安全向上策を追加することによって、 安全向上策の有無による実際の被害状況がわかるため、今まで算出することができなかった安 全向上策の組み合わせによる相乗効果を定量化することが可能となると考えられる。

また、事故・トラブル・ヒヤリハット情報に関しては、事故等の状況の原因の項目をさらに細かくする。爆発や火災にかかわるヒヤリハット情報について、処理不適物の発見をした場合、どのような原因物であるかを入力する。さらに、火災および爆発の事故・トラブル・ヒヤリハット事例については、原因物および知覚手段を入力する。このような情報は安全向上策導入時の低減率の定量化に活用することができる。現在は、事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DBであるが、事故・トラブル事例 DBとヒヤリハット DBを分けることによって、事故等の推論など活用方法が広がるのではないかと考えられる。

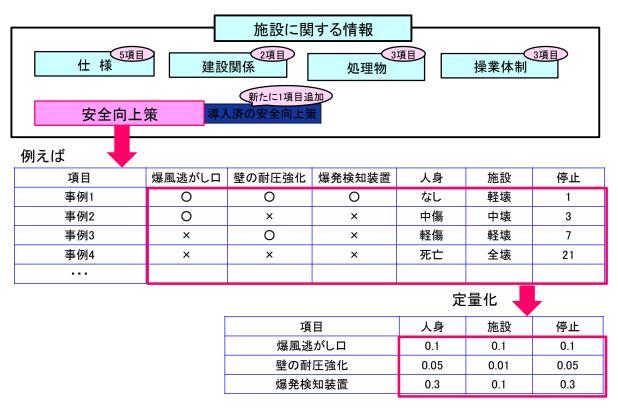


図8.9 ATHDB-all における追加項目の提案1

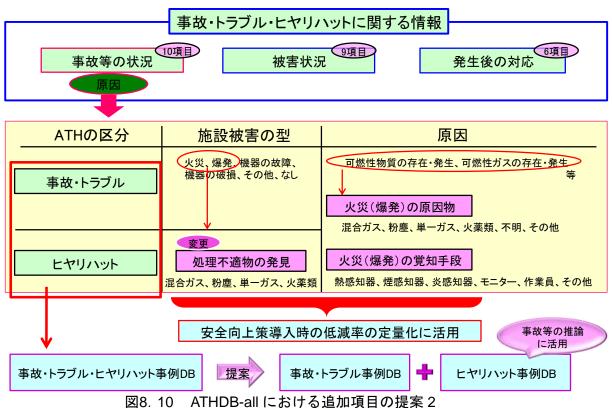


図8. 10

安全向上策の組み合せによる相乗効果の検討

安全向上策を複数導入する場合、どのような相乗効果があるのかということについて検討を

行った。安全向上策とは、事故に対するリスクを低減するための技術的な安全対策である。複数のプラントメーカの有識者にヒアリング調査を行ったところ、安全向上策を同装置に複数導入した場合の相乗効果を定量化するうえで最も有効的な方法は、安全向上策の組合せを抽出し、その抽出した組合せそれぞれにおいての低減効果を定量化するという方法であった。また、安全向上策の組合せはパターン化されており、無限の組合せが存在するわけではないという意見が得られた。そこで、有識者の意見や関連団体資料より安全向上策の組合せを抽出し、それらの組合せを安全向上策の低減効果を定量化したのと同様に、定性的なアンケートから定量的なアンケートを行うという方法で低減効果の定量化を行っていく。

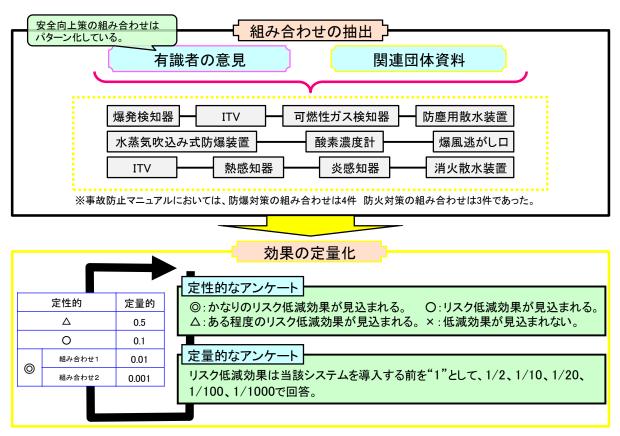


図8.11 安全向上策の組み合わせによる相乗効果の検討

8. 3 B/C の優れた安全向上策の検討

安全向上策を導入する際には、施設の処理規模や対策の導入費用を考慮し、費用便益比 (B/C) に優れた安全向上策を導入する必要がある。そこで、式 (7.10) のように安全向上策の導入効果を定義することによって、それぞれの安全向上策がどの程度 B/C に優れているのかということを定量的に評価する手法について検討を行った。

E= (B-A) / C (7.10)

E: 導入効果, C: 安全向上策のイニシャルコスト,

B:対策前の装置・機器のリスク, A:対策後の装置・機器のリスク

以上のように導入効果を定義すると、火災事故において効果のある、ITV の設置、熱感知器の設置、可燃性ガス検知器、ピット熱画像監視装置を比較した場合、モニタリングによって火災を装置発見できる ITV を設置するという対策が最も当該施設において効果が高いというこ

No.	名 称	人身被害 抑制効果	施設被害 抑制効果	施設の早期 復旧効果	事故の発生 抑制効果	イニシャル コスト[万円]
1	ITVの設置	0.1	0.1	0.1	1	100
2	熱感知器の設置	1	0.02	0.02	1	300
3	可燃性ガス検知器	0.001	0.01	1	0.001	500
4	ピット熱画像監視装置	1	0.1	0.1	0.1	1500

順位	対策前リスク [万円/施設・年]	ITVの 導入効果	熱感知器の 導入効果	可燃性ガス検知器の 導入効果	ピット熱画像監視装置の 導入効果
1	20.294	0.192	0.067	0.041	0.013
2	20.294	0.183	0.066	0.041	0.013
3	19.928	0.179	0.065	0.040	0.013
4	19.928	0.188	0.066	0.040	0.013
5	18.116	0.163	0.059	0.036	0.012
6	18.116	0.171	0.060	0.036	0.012

図8. 12 B/C に優れた安全向上策の検討

8. 4 WASEDA SAD の開発

8. 4. 1 WASEDA SAD アプリケーションの開発

WASEDA SAD とは、安全設計評価手法 SAD を実用化するために開発した、Adobe AIR を実行環境とするデスクトップアプリケーションである。図7.13が示しているのは Adobe Air および WASEDA SAD の特徴である。Adobe Air は、Adobe が 2008 年 2 月にリリースしたアプリケーションソフトをデスクトップで実行するための実行環境である。Adobe Air は Flash をベースとして利用しているため、Web ブラウザでは実現できなかった洗練されたデザインで、かつ操作性に優れたアプリケーションを作成することができる。また、Visual Basic や Java 等の一般的な既存技術には存在しない大きな特徴(機能)として、「Windows や Mac 等の異なる OSでも動作が可能」ということ、「データベース管理機能(SQLite)が組み込まれている」ということ、「Flash をベースとしているためグラフィック機能に優れている」ということ等が挙げられる。以上のような特徴を持つ WASEDA SAD を活用することにより、今まで時間と手間がかかっていた安全設計評価手法 SAD を自動で行い、ATHDB-all や STDB を参照しリスクの定量評価をより簡単に行うことが可能である。

実行環境



Adobe AIR

Adobe社のFlashを利用したアプリケーションソフトをデスクトップで実行するための実行環境。2008年2月に正式リリースされた。

特徴

- ・WindowsやMac等の異なるOSでも動作が可能。
- ・データベース管理機能(SQLite)が組み込まれている。
- ・Flashをベースとしているためグラフィック機能に優れている。

Visual BasicやJavaには 存在しない機能

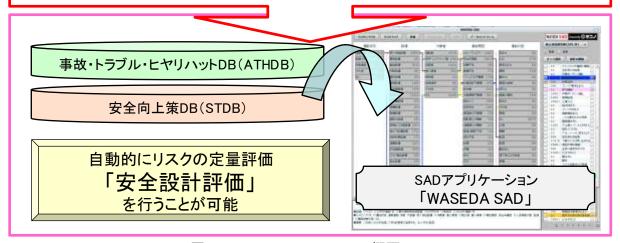


図8.13 WASEDA SAD の概要

以下、SADアプリケーションを使用し、安全設計評価を行う手順を示す。

8. 4. 2 データ選択

参照するデータベースを選択する。参照するデータベースは、事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベース(ATHDB)、安全向上策データベース(STDB)、マスターデータベース(MASTERDB)の3種類であり、Excelより出力したものである。MASTERDBは、SADアプリケーションに汎用性を持たせるためのものであり、設計者がオリジナルものにカスタマイズする、あるいは廃棄物処理施設だけではなく他の分野にも拡張することを可能としている。

ATHDB および STDB は設計者が設定するフォーマットに合わせて蓄積したデータを活用する。我々がこれまで蓄積・整理してきたデータベースを活用することもできる。

8. 4. 3 リスクシナリオ

参照するデータベースを読み込むと、自動的にリスクシナリオを生成する。表示項目は、運転状況、設備、対象者、事故原因、事故の型の5項目としている。各項目(ボタン)には、「通常運転・作業(60)」のように、名称の他にカッコ内に件数が表示されている。このボタンを選択することによって、シナリオを絞り込むことができる。

また、右のサイドメニューからも、事例を選択することができる。最上部のプルダウンメニューから、リスク、最大事故被害額、発生率のいずれかを選択すると、選択した項目と事例の概要を表示する。サイドメニューから事例を選択すると、最大 10 色まで色分けされたリスクシナリオを表示させることができる。また、サイドメニューの事例は、降順もしくは昇順に並べ替えることも可能である。なお、施設被害および人身被害が発生している事例においては、

被害額の高い方の事故の型を表示するものとした。

8. 4. 4 リスクマップ

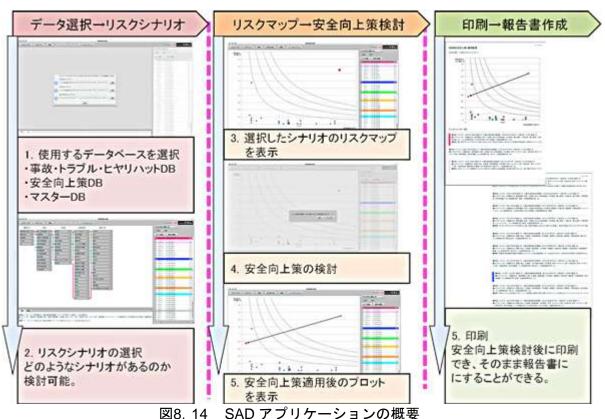
リスクシナリオで事例を選択後、上部のリスクマップボタンをクリックすると、選択された 事例のリスクマップを表示する。リスクシナリオ画面において、色づけされた事例はそのまま リスクマップ画面でもそのまま反映されており、色分けされて表示される。

8. 4. 5 安全向上策

リスクが一定基準以上の事例に関しては、安全向上策を検討する必要がある。リスクマップ 画面で、サイドメニューから事例を選択後、上部の安全向上策ボタンをクリックすると、該当 する安全向上策を STDB から自動的に抽出(設備と機器、原因で検索)し、画面に表示する。

8. 4. 6 印刷および報告書作成

安全向上策検討後、印刷ボタンをクリックすると、安全向上策検討後のリスクマップと、表 示されているプロットにおける事例の詳細が記載されたものを印刷することができる。



8. 5 WASEDA SAD を活用した安全設計評価

WASEDA SAD を活用し、ATHDB-all における焼却発電施設について安全設計評価を行った。 ATHDB-all における焼却発電施設 SAD アプリケーションを用いたリスクの定量評価を行った 結果、リスクの高い上位 10 事例は表 7. 4のようになっている。最もリスクが高い事例は通 常運転・作業中受入供給設備における火災事故であり、20.3「万円/施設・年」となった。そこ で今回は、最もリスクの高い受入供給設備における火災事故について分析を行う。

図7.15のようにリスクシナリオは図のように線のつながりで表され、線の色と同様の色 の値がそのシナリオにおけるリスクの値となっている。それぞれの項目の右側に表示されてい る数値は件数を表している。例えば通常運転・作業中受入供給設備における対象者なしの火災事故は 61 件あることがわかる。リスクシナリオで事例を選択後、上部のリスクマップボタンをクリックすると、選択された事例のリスクマップを表示する。リスクシナリオ画面において、色づけされた事例はそのままリスクマップ画面でもそのまま反映されており、色分けされて表示される。そこで今回は、リスクが 10 万円/施設・年以上の事例に関して、安全向上策の導入検討を行うこととした。リスクマップ画面において、サイドメニューから事例を選択後、上部の安全向上策ボタンをクリックすると、該当する安全向上策を STDB から自動的に抽出(設備と機器、原因で検索)し、画面に表示する。今回は導入効果の最も高い ITV の設置を選択することとした。その結果、図7.5のようにリスクを2.5万円/施設・年以下まで下げることができた。安全向上策検討後、印刷ボタンをクリックすると、安全向上策検討後のリスクマップと、表示されているプロットにおける事例の詳細が記載されたものを印刷することができる。

表8.1 焼却発電施設においてリスクの高い上位 10事例

順位	運転状況	設備	対象者	事故原因	事故の型	リスク 万円/施設・ 年
1	通常運転 作業	受入供給設備	なし	なし	火災	20.3
2	起動・停止	受入供給設備	なし	なし	火災	20.3
3	起動・停止	受入供給設備	なし	なし	火災	19.9
4	通常運転 作業	受入供給設備	なし	なし	火災	19.9
5	通常運転 作業	受入供給設備	なし	ヒューマン エラー	火災	18.1
6	起動・停止	受入供給設備	なし	ヒューマン エラー	火災	18.1
7	通常運転 作業	受入供給設備	なし	ヒューマン エラー	火災	10.9
8	起動・停止	受入供給設備	なし	設計ミス	火災	9.06
9	通常運転 作業	燃焼設備	なし	設計ミス	爆発	8.36
10	通常運転 作業	燃焼設備	なし	設計ミス	その他作業中における負傷	8.23

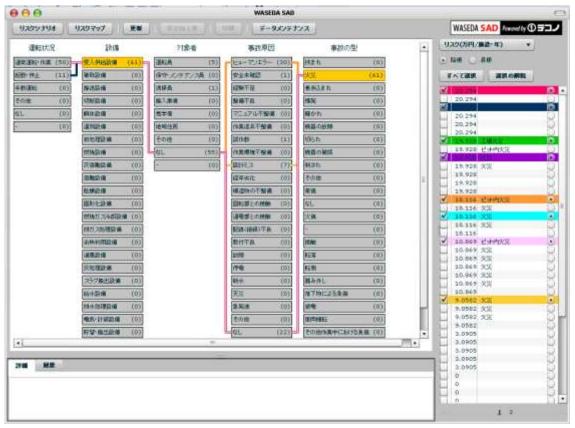


図8.15 リスクシナリオ

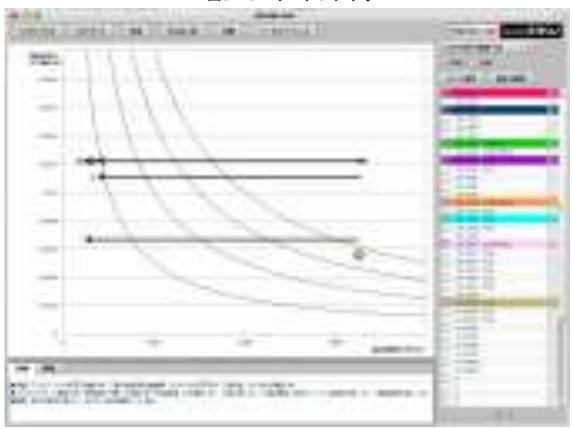


図8.16 リスクマップ

8. 6 ユーザーインターフェイス向上を目指した改良

本年度は実際に実施設で活用することを目的として,個別施設の安全担当者が SAD アプリケーションを用いて簡便に安全対応を検討できるよう,ユーザーインターフェイスを中心とした改良を行った.

具体的な SAD アプリケーションの改良内容を以下に示す.

- ・読込 DB 拡張子の変更・・・これまでテキストファイルをデータメンテナンス画面で読み込ませていたが、このテキストファイルを作成するためには、エクセルにまとめてある DB を書き出した後に UTF-8 形式へ変換するなど、手間のかかる作業が必要であった。また、MASTERDB は特有の定義があり、それらに対応したファイルを作成するためには知識や慣れが必要で、初めて使用する人が正常にアプリを作動させることは困難であった。そこで、エクセルファイルまたはフォルダを直接読み込む形式にしたことで、読み込むファイルを変換する手間を簡略化でき、また読み込むファイルをそのままプロジェクトファイルとして管理できるようになる。
- ・グラフの拡大表示機能・・・従来はグラフ表示時にグラフの項目数が多いと文字が小さくなりすぎ、見えなくなることがあったが、この機能により改善される.
- ・クリップボードへのコピー機能・・・これによって作成したグラフを個別の図として他のソフトで利用できるようになるため、資料作成やプロジェクトファイル保存機能として活用できる.

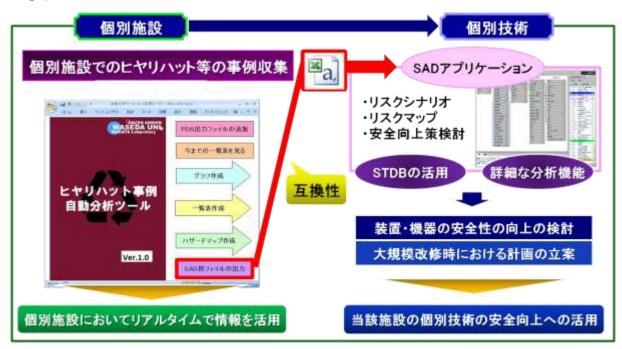


図8. 17 高度化した SAD アプリを活用した安全対応システムの特徴

また、自動分析ツールにより情報の整理や分析、活用・提示が個別施設において可能になったが、そのツールの情報の整理機能として、SAD 用ファイルの出力を加えた。そうすることで、読込 DB 拡張子を簡易化したアプリケーションではそのまま動作させることが可能で、収集した事例をもとに STDB を活用したリスクの評価や大規模改修時への適用など、個別技術においても様々な分析機能を活用することができ、個別の施設・技術における安全対応システムをより総合的に運用可能になった。

8. 7 WASEDA SAD の普及策の検討

開発中のSADアプリの普及策を検討した。システム安全安心研究会や対象施設においてアプリケーションを紹介するだけでなく実際に使用して頂いた結果をヒアリング調査し、今後の改良に活用する。 現在検討中の普及策を図7. 18に示す。Adobe 社が発行している冊子や教育機関のコミュニティーにおいて、WASEDA SAD が Adobe Air をベースとするアプリケーションを開発しているという先進的な事例であるという紹介をしてもらう予定である。



図8.18 検討している普及策